

Desain Antena Mikrostrip Patch Segitiga dengan Slit Ganda untuk Aplikasi WiFi

Heru Abrianto^{1*}; Irmayani Irmayani²

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tama Jagakarsa

²Program studi Teknik Elektro, Fakultas Sains Terapan dan Teknologi, ISTN

e-mail: heruab@gmail.com

Abstrak

Antena mikrostrip patch berbentuk segitiga ini dirancang untuk dapat bekerja pada jaringan WiFi dengan dua frekuensi kerja, yaitu WLAN 2,4 GHz dan 5,8 GHz. Antena menggunakan teknik pencatutan langsung (direct feed) dan memiliki pola radiasi satu arah. Penambahan slit ganda sejajar pada patch dilakukan untuk mendukung pengoperasian pada frekuensi 5,8 GHz. Berdasarkan hasil simulasi, untuk antena satu frekuensi (single band), diperoleh Return Loss sebesar -19 dB, yang telah memenuhi standar minimum Return Loss < -10 dB. Nilai VSWR sebesar 1,25 juga berada dalam rentang yang diizinkan, dengan gain mencapai 25,6 dBm. Directivity maksimum dicapai saat antena diputar pada sudut 90°, dan bandwidth yang diperoleh sebesar 1,14 GHz. Untuk desain antena dual-frekuensi, hasil simulasi menunjukkan Return Loss sebesar -14,79 dB pada frekuensi 2,4 GHz dan -15,17 dB pada 5,8 GHz, keduanya memenuhi standar minimum Return Loss < -10 dB. VSWR masing-masing adalah 1,44 (2,4 GHz) dan 1,42 (5,8 GHz), juga berada dalam standar. Gain yang diperoleh tetap sebesar 25,6 dBm, dengan directivity maksimum pada sudut 90°. Bandwidth yang dihasilkan adalah 1,054 GHz pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,70 GHz pada frekuensi 5,8 GHz. Hasil ini menunjukkan bahwa antena yang dirancang mampu bekerja dengan baik pada kedua frekuensi WiFi yang ditargetkan.

Kata kunci: Antena mikrostrip, patch segitiga, slit ganda, WiFi, WLAN, VSWR, bandwidth

Abstract

This triangular microstrip patch antenna is designed to operate on WiFi networks at dual frequencies: 2.4 GHz and 5.8 GHz (WLAN bands). The antenna uses a direct feed technique and exhibits unidirectional radiation characteristics. Dual parallel slits are incorporated into the patch to enable operation at the 5.8 GHz frequency. Based on simulation results, for the single-frequency antenna configuration, a Return Loss of -19 dB was achieved, which meets the minimum standard of Return Loss < -10 dB. The Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) obtained was 1.25, also within the acceptable limit (VSWR < 2), and the antenna gain reached 25.6 dBm. Maximum directivity was observed when the antenna was rotated at a 90° angle, with a bandwidth of 1.14 GHz.

For the dual-frequency design, the simulation results showed Return Loss values of -14.79 dB at 2.4 GHz and -15.17 dB at 5.8 GHz, both satisfying the Return Loss < -10 dB requirement. The VSWR values were 1.44 for 2.4 GHz and 1.42 for 5.8 GHz, meeting the VSWR < 2 standard. The gain remained at 25.6 dBm, and maximum directivity was again observed at a 90° rotation. The resulting bandwidths were 1.054 GHz at 2.4 GHz and 2.70 GHz at 5.8 GHz. These results indicate that the designed antenna performs effectively across both target WiFi frequencies.

Keywords: Microstrip antenna, Triangular patch, Dual slits, WiFi, WLAN, VSWR, Bandwidth

1. PENDAHULUAN

Telekomunikasi merupakan salah satu bidang yang memegang peranan penting dalam kehidupan modern. Melalui teknologi telekomunikasi, manusia dapat saling bertukar informasi dengan cepat dan mudah, tanpa dibatasi oleh jarak dan waktu. Seiring dengan perkembangan aktivitas manusia yang semakin dinamis dan mobile, dibutuhkan sistem komunikasi yang fleksibel, efisien, dan dapat digunakan kapan saja serta di mana saja. Untuk menjawab kebutuhan tersebut, muncullah sistem komunikasi nirkabel (*wireless*) yang tidak lagi mengandalkan media kabel dan memungkinkan pengguna untuk bergerak bebas. Sistem ini dikenal sebagai sistem komunikasi *mobile wireless*, yang merupakan bagian dari sistem komunikasi radio (Rappaport, 2024) (Stallings, 2007) (Garg, 2007).

Salah satu komponen utama dalam sistem komunikasi radio adalah antena. Antena berfungsi sebagai penghubung antara sinyal elektromagnetik di udara dan

sinyal listrik di dalam perangkat komunikasi. Berbagai jenis antena telah dikembangkan untuk mendukung aplikasi seperti radar, telemetri, biomedis, komunikasi bergerak, penginderaan jarak jauh (*remote sensing*), dan komunikasi satelit. Dalam mendukung teknologi WLAN (*Wireless Local Area Network*), antena yang digunakan harus memenuhi beberapa kriteria, antara lain kompatibel, berdimensi kecil, ringan, mudah diproduksi, serta mampu bekerja pada pita frekuensi yang lebar (*broadband*). Salah satu jenis antena yang mampu memenuhi kriteria tersebut adalah antena mikrostrip (H. H. Abrianto & Mukdien, 2022) (H. H. Abrianto et al., 2020).

Antena mikrostrip merupakan jenis antena datar yang dirancang dengan struktur sederhana dan dimensi yang relatif kecil. Sejak pertama kali dikembangkan pada tahun 1970-an, antena ini terus mengalami perkembangan dan menjadi populer untuk berbagai aplikasi komunikasi. Keunggulan utama antena mikrostrip antara lain bentuknya yang ringkas, ringan, biaya produksi yang

rendah, serta kemudahan dalam integrasi dengan rangkaian sistem komunikasi lainnya (H. H. Abrianto et al., 2021) (Sabapathy et al., 2013).

Struktur antenna mikrostrip terdiri atas beberapa lapisan, di antaranya *ground plane*, substrat dielektrik, dan patch konduktor yang berfungsi sebagai elemen radiasi. Saluran transmisi yang digunakan umumnya berupa mikrostrip, yaitu jalur penghantar sinyal yang bersifat kaku dan bekerja pada frekuensi gelombang mikro (GHz) (Alaydrus, 2011). Penggunaan patch berbentuk segitiga dan penambahan slot pada struktur patch menjadi salah satu metode untuk menghasilkan antenna dengan performa lebih baik, khususnya untuk aplikasi dual-band seperti WLAN pada frekuensi 2,4 GHz dan 5,8 GHz (H. Abrianto & Yuliansyah, 2018) (Rochendi et al., 2020).

Berbagai penelitian dalam bidang antenna mikrostrip menunjukkan bahwa desain dengan penambahan slot atau slit pada patch antenna memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja dan fleksibilitas frekuensi antenna (S et al., 2017) (Osman et al., 2016). Pada penelitian antenna mikrostrip dengan konfigurasi double triangular patch dan penambahan slot berbentuk Y berhasil beroperasi pada frekuensi 1800 MHz untuk aplikasi penguat sinyal 4G (Rafsyam et al., 2021). Hasil pengujian menunjukkan return loss sebesar -20,702 dB, nilai VSWR 1,1566, gain 6,9 dB, dan pola radiasi unidirectional. Level sinyal tertinggi yang diperoleh adalah -77 dBm dan terendah -110,6 dBm, menandakan antenna ini efektif digunakan dalam kondisi sinyal lemah.

Sementara itu, pada perancangan antenna mikrostrip segitiga sama sisi dengan teknik sambatan elektromagnetik, mampu menghasilkan dua frekuensi kerja yaitu 2000 MHz dan 4000 MHz dengan menambahkan sepasang beban slit pada alas patch segitiga (Surjati et al., 2005). Hal ini menunjukkan bahwa slit dapat dimanfaatkan untuk menciptakan antenna dual-frequency. Penelitian serupa yaitu Desain Antena Mikrostrip Antena Segiempat MIMO 4X4 Untuk Aplikasi WIFI dan WIMAX berhasil pada frekuensi 2400 MHz dan 5000 MHz (H. Abrianto & Irmayani, 2023). Penambahan slit dapat dimanfaatkan untuk menciptakan antenna dual-frequency dan terbukti meningkatkan performa antenna.

Dalam konteks sistem komunikasi generasi terbaru, dengan merancang slot antenna array berbasis MIMO untuk jaringan 5G millimeter-wave, mampu mendukung bandwidth besar dan performa tinggi (Saad & Mohamed, 2019). Pengembangan antenna phased array mikrostrip dengan kemampuan reconfigurable polarization dan frequency agility, memungkinkan antenna untuk beradaptasi terhadap berbagai kebutuhan frekuensi (Babakhani et al., 2016). Pada perancangan array antenna mikrostrip 2x2 berbentuk slot persegi dengan jaringan impedansi multi, dapat meningkatkan performa matching dan gain (Darsono & Iskandar, 2008). Perancangan

menggunakan Minkowski fractal pada antenna MIMO multiband untuk mengurangi efek mutual coupling antar elemen, menjadikan antenna lebih efisien dalam sistem komunikasi multikanal (Babu & Anuradha, 2018).

Dari berbagai hasil penelitian tersebut dapat menunjukkan bahwa penambahan dan pengaturan slot atau slit pada patch antenna mikrostrip merupakan teknik efektif untuk menghasilkan kinerja dual-frequency, meningkatkan parameter teknis seperti return loss, VSWR, bandwidth, dan gain, serta memungkinkan fleksibilitas desain untuk berbagai aplikasi seperti 4G, WLAN, hingga 5G. Selain itu, desain antenna mikrostrip yang kompak dan efisien tetap mampu memenuhi kebutuhan sistem komunikasi modern yang dinamis dan multifrekuensi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mensimulasikan antenna mikrostrip patch berbentuk segitiga dengan penambahan slit ganda pada patch, yang ditujukan untuk aplikasi WiFi pada frekuensi 2,4 GHz dan 5,8 GHz. Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis karakteristik antenna yang dihasilkan, meliputi parameter Return Loss, VSWR, Gain, Directivity, dan Bandwidth pada kedua frekuensi kerja tersebut. Selain itu, penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh penambahan slit terhadap performa antenna dalam mendukung aplikasi WLAN dual-band. Akhirnya, melalui simulasi dan analisis, penelitian ini diharapkan dapat membuktikan bahwa desain antenna yang diusulkan mampu bekerja secara optimal pada kedua frekuensi dan memenuhi standar teknis yang telah ditentukan.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah memberikan kontribusi dalam pengembangan desain antenna mikrostrip dual-band yang efisien, khususnya untuk aplikasi WiFi. Desain ini diharapkan dapat menjadi referensi atau solusi teknis bagi pengembangan perangkat komunikasi nirkabel yang memerlukan antenna dengan ukuran kompak, performa tinggi, dan kompatibel dengan standar WLAN yang umum digunakan saat ini.

2. LANDASAN TEORI

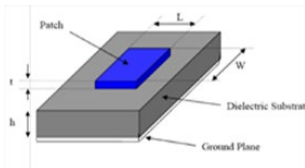
2.1 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antenna planar yang banyak digunakan dalam sistem komunikasi nirkabel karena bentuknya yang kompak, ringan, serta mudah dalam proses fabrikasi dan integrasi dengan perangkat elektronik lainnya. Struktur dasar antenna mikrostrip terdiri dari patch konduktor yang ditempatkan di atas substrat dielektrik, dengan *ground plane* pada bagian bawahnya. Antena ini pertama kali diperkenalkan pada tahun 1970-an dan telah berkembang luas untuk berbagai aplikasi (Balanis, 2016) (Edwards & Steer, 2002).

Antena mikrostrip bekerja dengan prinsip resonansi, di mana dimensi patch ditentukan oleh panjang gelombang pada frekuensi kerja yang diinginkan.

Karakteristik antenna sangat dipengaruhi oleh bahan substrat, ketebalan substrat, dimensi patch, serta metode pencatumannya. Beberapa metode pencatuan yang umum digunakan antara lain *microstrip line feed*, *coaxial probe feed*, *aperture coupling*, dan *proximity coupling* (Balanis, 2016).

Salah satu jenis antenna yang paling populer saat ini adalah antenna mikrostrip. Hal ini disebabkan oleh karakteristiknya yang sangat sesuai untuk perangkat telekomunikasi modern, yang umumnya menuntut bentuk antenna yang ringkas dan berukuran kecil. Antena mikrostrip terdiri dari elemen konduktor (patch) yang ditempatkan di atas permukaan substrat dielektrik, dengan *ground plane* pada bagian bawahnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



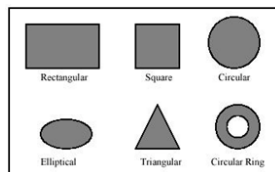
Gambar 1. Struktur antenna mikrostrip

Antena mikrostrip memiliki sejumlah keunggulan, di antaranya adalah bobot yang ringan, kemudahan dalam proses fabrikasi, serta sifatnya yang konformal, sehingga memungkinkan pemasangan pada hampir semua jenis permukaan. Selain itu, ukuran fisiknya yang relatif kecil menjadikannya sangat cocok untuk diaplikasikan pada perangkat komunikasi berukuran kompak, seperti smartphone, laptop, router WiFi, dan perangkat IoT (H. H. Abrianto et al., 2021) (Sabapathy et al., 2013).

Berkat keunggulan-keunggulan tersebut, antena mikrostrip sangat sesuai dengan kebutuhan sistem komunikasi masa kini. Antena ini juga mudah diintegrasikan dengan rangkaian perangkat lainnya karena struktur planar dan sifatnya yang mendukung proses produksi massal. Namun demikian, kekurangan utama dari antena mikrostrip terletak pada nilai gain dan directivity yang cenderung rendah, serta efisiensinya yang terbatas bila dibandingkan dengan jenis antena konvensional lainnya.

2.2 Jenis Patch Antena Mikrostrip

Bentuk konduktor pada antena mikrostrip dapat bervariasi, namun bentuk yang paling umum digunakan adalah persegi panjang dan lingkaran karena kedua bentuk ini lebih mudah dianalisis dan dirancang (Surjati, 2010). Berbagai jenis patch antena mikrostrip dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Jenis patch antena mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena nirkabel yang paling populer saat ini. Hal ini disebabkan oleh kemudahan dalam proses fabrikasinya, termasuk kemampuan untuk dicetak menggunakan teknologi sirkuit cetak. Selain itu, antena mikrostrip dapat diaplikasikan pada permukaan non-planar dan bersifat fleksibel, sehingga memungkinkan pembuatan berbagai pola radiasi dan polarisasi yang beragam. Struktur antena ini juga memiliki kekuatan mekanik yang cukup baik meskipun memiliki bentuk yang tipis dan ringan (Ali et al., 2019).

2.3 Slot sebagai Teknik Penalaan Frekuensi

Penambahan slot pada patch antena mikrostrip merupakan salah satu teknik yang efektif untuk memodifikasi karakteristik frekuensi antena. Slot berfungsi sebagai elemen resonator tambahan yang dapat menimbulkan frekuensi kerja kedua atau lebih, sehingga memungkinkan antena untuk bekerja pada frekuensi ganda (*dual-band*) atau bahkan multiband. Dengan menggunakan slot, dimensi keseluruhan antena tidak perlu diperbesar secara signifikan untuk mencapai resonansi pada frekuensi tambahan (H. H. Abrianto et al., 2020).

Jenis slot yang umum digunakan meliputi celah lurus, U-slot, E-slot, dan berbagai bentuk geometris lainnya. Penempatan, ukuran, dan orientasi slot sangat mempengaruhi frekuensi resonansi serta impedansi antena. Slot dapat ditempatkan sejajar atau tegak lurus terhadap arus utama pada patch, yang berdampak pada perubahan pola medan elektromagnetik dan distribusi arus di dalam patch.

Dalam desain antena mikrostrip dual-band untuk aplikasi WiFi, penambahan slit ganda sejajar pada patch segitiga dapat mengakomodasi frekuensi kerja di pita 2,4 GHz dan 5,8 GHz. Teknik ini memungkinkan antena untuk mempertahankan ukuran yang kompak sekaligus memenuhi kebutuhan bandwidth dan performa yang dibutuhkan dalam sistem komunikasi WLAN (H. H. Abrianto & Mukdien, 2022) (Irmayani et al., 2023).

2.3 Parameter Antena

Kinerja dan daya guna sebuah antena dapat dinilai berdasarkan parameter-parameter antena tersebut. Beberapa parameter utama yang saling berkaitan dan biasa digunakan untuk menganalisis performa antena antara lain adalah impedansi masukan, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), Return Loss, bandwidth, gain, dan pola radiasi.

2.3.1 Return Loss

Return Loss terjadi akibat adanya diskontinuitas antara impedansi saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas atau mismatch, nilai Return Loss akan bervariasi tergantung frekuensi operasi. Rumus untuk mencari nilai return loss adalah:

$$\text{Return loss: } |\Gamma| = \left| \frac{Z_{load} - Z_0}{Z_{load} + Z_0} \right| \dots \dots \dots (1)$$

Secara umum, Return Loss yang baik ditandai dengan nilai di bawah -10 dB, yang menunjukkan bahwa sebagian besar daya diterima oleh antenna dan hanya sedikit yang dipantulkan kembali ke sumber.

2.3.2 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

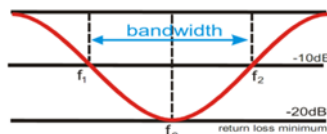
VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri maksimum ($|V|_{\max}$) dengan minimum ($|V|_{\min}$) pada saluran transmisi akibat adanya gelombang yang dipantulkan. Nilai VSWR dapat dihitung menggunakan rumus:

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \dots \dots \dots (2)$$

Γ adalah koefisien refleksi pada titik pengukuran. Nilai VSWR minimal yang diterima biasanya adalah ≤ 2 , yang menunjukkan bahwa gelombang yang dipantulkan relatif kecil dibandingkan dengan gelombang yang diteruskan, sehingga saluran transmisi sudah dianggap matching dengan antenna.

2.3.4 Bandwidth

Bandwidth sebuah antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana kinerja antenna memenuhi spesifikasi standar tertentu, yang berhubungan dengan beberapa karakteristik seperti impedansi masukan, polarisasi, beamwidth, gain, efisiensi, VSWR, dan Return Loss. Gambar 3 menunjukkan ilustrasi rentang frekuensi yang menjadi bandwidth antenna.



Gambar 3. Bandwidth antenna

Bandwidth (BW) dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$BW = f_2 - f_1 \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

- f_2 = frekuensi tertinggi pada rentang bandwidth
- f_1 = frekuensi terendah pada rentang bandwidth

Rentang frekuensi ini mencerminkan batas di mana parameter antenna masih berada dalam batas toleransi yang ditentukan, seperti VSWR kurang dari 2 atau Return Loss lebih baik dari -10 dB.

2.3.5 Gain Antena

Terdapat dua jenis gain (penguatan) pada antenna, yaitu gain absolut (absolute gain) dan gain relatif (relative gain).

Gain absolut dapat dinyatakan dengan rumus:

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

- G = gain absolut antenna
- $U(\theta, \phi)$ = intensitas radiasi pada arah tertentu
- P_{in} = daya total yang masuk ke antenna

Untuk keperluan praktis, gain juga dapat diukur menggunakan metode perbandingan dengan antenna referensi. Rumus gain praktis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$G = P_{1tx} - P_{2rx} + P_{ref} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

- $P_{1(rx)}$ = daya yang diterima oleh antenna uji sebagai penerima
- $P_{2(tx)}$ = daya yang dipancarkan oleh antenna uji sebagai pemancar
- P_{ref} = gain dari antenna referensi yang digunakan sebagai pembanding

Nilai gain dinyatakan dalam satuan desibel terhadap antenna isotropik (dBi). Semakin tinggi nilai gain, semakin besar kemampuan antenna untuk memfokuskan daya pancarnya ke arah tertentu.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Menentukan Jenis Substrat yang Digunakan

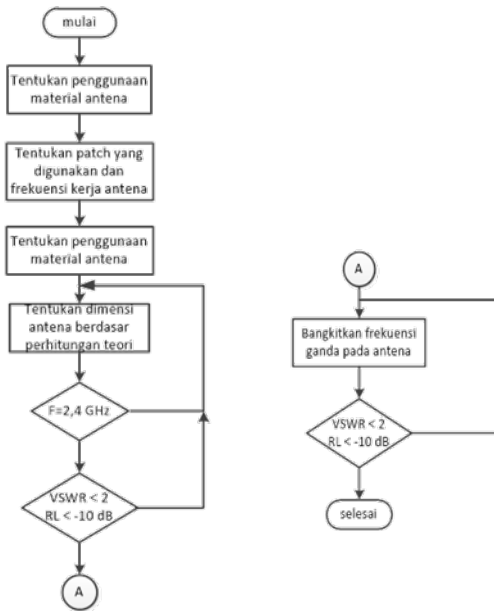
Substrat merupakan bahan dielektrik yang memiliki nilai konstanta dielektrik (ϵ_r), dielectric loss tangent ($\tan \delta$), dan ketebalan (h) tertentu. Pada penelitian ini digunakan substrat FR4 (Epoxy) dengan ketebalan 1,6 mm. Spesifikasi lengkap substrat yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Bahan: Epoxy fiberglass – FR4
- Konstanta dielektrik (ϵ_r): 4,4
- Ketebalan lapisan dielektrik (h): 1,6 mm
- Loss tangent ($\tan \delta$): 0,018

Pemilihan substrat FR4 didasarkan pada ketersediaan, harga yang relatif murah, dan kemudahan dalam proses fabrikasi, meskipun memiliki loss tangent yang relatif lebih tinggi dibanding substrat lain seperti Rogers. Namun, untuk aplikasi WiFi pada 2,4 GHz dan 5,8 GHz, FR4 masih dapat digunakan secara efektif.

3.2. Perancangan Antena Patch Segitiga

Dalam merancang antenna, diperlukan tahapan-tahapan yang sistematis untuk membantu dalam proses desain secara menyeluruh. Gambar 4 menunjukkan diagram alir dari proses perancangan antenna.



Gambar 4. Diagram alir proses perancangan antenna

Proses perancangan antenna mikrostrip patch dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan utama. Tahap pertama dimulai dengan pemilihan substrat, yaitu menentukan jenis bahan dielektrik yang akan digunakan, seperti FR4, berdasarkan parameter seperti konstanta dielektrik, ketebalan, dan loss tangent. Selanjutnya, dilakukan penentuan bentuk patch dan frekuensi kerja antenna, dalam hal ini patch berbentuk segitiga dengan target frekuensi operasi pada 2,4 GHz dan 5,8 GHz untuk aplikasi WiFi. Setelah itu, ke tahap desain geometri patch, di mana dimensi dan bentuk fisik patch dirancang sesuai dengan rumus-rumus elektromagnetik yang berlaku. Untuk mendukung kinerja dual-frekuensi, dilakukan penambahan slit pada patch, yang berfungsi sebagai elemen resonansi tambahan untuk mencapai frekuensi kedua (5,8 GHz). Tahapan berikutnya adalah simulasi, di mana model antenna yang telah dirancang diuji secara virtual menggunakan perangkat lunak simulasi elektromagnetik untuk melihat parameter performa seperti Return Loss, VSWR, gain, dan bandwidth. Hasil dari simulasi kemudian ke tahap analisis parameter, guna mengevaluasi apakah desain telah memenuhi spesifikasi teknis yang diinginkan. Jika masih terdapat kekurangan, dilakukan optimasi desain dengan menyesuaikan dimensi atau posisi slit untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Setelah semua parameter memenuhi standar yang ditentukan, proses dilanjutkan ke tahap akhir yaitu finalisasi desain, di mana desain antenna disiapkan untuk proses fabrikasi atau pengujian lebih lanjut.

3.3. Perancangan Antena Segitiga Elemen Tunggal

Antena yang dirancang pada bagian ini merupakan antenna mikrostrip patch berbentuk segitiga dengan elemen tunggal, yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz, sesuai

dengan standar frekuensi jaringan WLAN. Desain antenna ini mengacu pada prinsip resonansi patch, di mana panjang sisi patch disesuaikan agar mendukung mode resonansi fundamental pada frekuensi target.

Perancangan dimulai dengan menentukan dimensi fisik patch berdasarkan persamaan resonansi untuk patch segitiga. Bentuk segitiga dipilih karena memiliki ukuran fisik yang lebih kecil dibanding bentuk persegi panjang pada frekuensi yang sama, sehingga cocok untuk aplikasi perangkat nirkabel berukuran kompak.

Untuk menentukan dimensi patch, digunakan rumus resonansi khusus untuk antenna segitiga sama sisi pada mode dasar (TM_{10}):

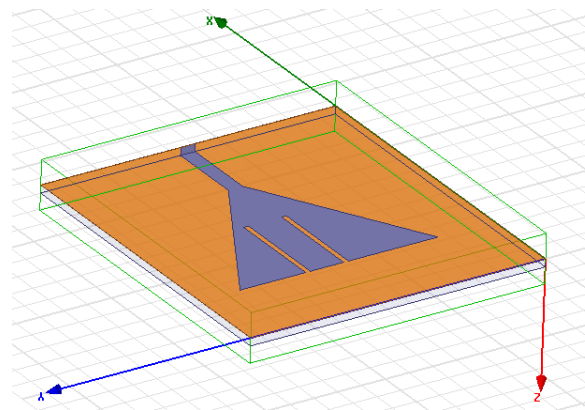
$$a = \frac{2C}{3f_{10}\sqrt{\epsilon_r}} = 39.72 \text{ mm}$$

Dengan:

- a = panjang sisi segitiga (m)
- c = kecepatan cahaya = 3×10^8 m/s
- f_{10} = frekuensi resonansi = 2,4 GHz
- ϵ_r = konstanta dielektrik = 4,4

Dengan demikian, panjang sisi (a) patch segitiga ditetapkan sebesar 39,72 mm agar antenna dapat beresonansi optimal pada frekuensi 2,4 GHz.

Setelah dimensi patch ditentukan, dilakukan perancangan feed line dengan teknik pencatutan langsung (direct feed), di mana posisi titik pencatutan diatur untuk mencapai impedansi mendekati 50 ohm.



Gambar 5. Model antenna mikrostrip patch segitiga

Model antenna (gambar 5) kemudian disimulasikan menggunakan perangkat lunak elektromagnetik untuk menganalisis parameter kinerja seperti Return Loss, VSWR, Gain, dan Bandwidth. Hasil simulasi menunjukkan bahwa antenna ini memiliki Return Loss sebesar -19 dB, VSWR 1,25, dan gain sebesar 25,6 dBm, yang memenuhi kriteria standar antenna WiFi.

3.4. Perancangan Saluran Pencatu

Saluran pencatu (feed line) merupakan bagian penting dalam sistem antenna mikrostrip karena berfungsi untuk menghubungkan sumber sinyal dengan patch antenna secara langsung (direct feed), dengan pencocokan impedansi yang baik. Dalam desain ini, saluran pencatu dirancang agar memiliki impedansi karakteristik sebesar 50Ω , yang umum digunakan dalam sistem RF untuk meminimalkan refleksi daya dan memastikan efisiensi transmisi maksimal.

Perancangan saluran pencatu dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik substrat, yaitu FR4 dengan konstanta dielektrik (ϵ_r) sebesar 4,4 dan ketebalan (h) sebesar 1,6 mm. Berdasarkan parameter tersebut, lebar saluran pencatu (W) yang dibutuhkan untuk mencapai impedansi 50Ω dihitung menggunakan rumus perhitungan mikrostrip, atau dapat pula ditentukan menggunakan software simulasi. Dari hasil perhitungan, diperoleh lebar saluran pencatu sebesar:

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} = 5.64$$

$$w = 1.019 + \{5.64 - 1 - \ln(10.28) + 0.38[\ln(4.64)] + 0.39 - 0.13\}$$

$$= 3.058 \text{ mm}$$

$$\frac{w}{h} = \frac{3.058}{1.6} = 1.911 > 1$$

Nilai ini sesuai untuk menghasilkan impedansi 50Ω berdasarkan persamaan empiris untuk saluran mikrostrip dengan substrat FR4.

Panjang saluran pencatu ditentukan berdasarkan tata letak antenna dan kebutuhan fisik, serta disesuaikan agar titik pencatutan berada pada lokasi yang menghasilkan impedansi input mendekati 50Ω . Pada desain ini, digunakan metode pencatutan langsung (direct feed) pada salah satu sisi segitiga patch, dengan posisi feed ditentukan melalui simulasi untuk mencapai nilai Return Loss yang optimal pada frekuensi kerja utama (2,4 GHz).

Maka karakteristik saluran mikrostrip (mikrostrip line) untuk $w/h > 1$ dapat dicari yaitu :

Konstanta dielectric efektif (ϵ_{eff})

$$\epsilon_{eff} = \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \times 1,6/3,05}} \right]$$

$$\epsilon_{eff} = 2,7 + 1,7 [0,37] = 3.3$$

Selanjutnya dengan persamaan:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{125}{\sqrt{4.4}} = 59,59 \text{ mm}$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3.10^8 \text{ m/s}}{2.4 \text{ GHz}} = 125 \text{ mm}$$

Panjang saluran pencatu 50Ω untuk digunakan saluran transmisi sepanjang $\frac{1}{4} \lambda_g$.

Dengan persamaan:

$$l = \frac{\lambda_g}{4} = \frac{59,59}{4} = 14,89 \text{ mm}$$

Maka panjang pencatu adalah, $l = 14,89 \text{ mm}$

Perhitungan Ground Plane antenna

$$L_g = 6h + 2a = 89.04$$

$$W_g = 6h + \frac{\pi}{2}a = 71.96$$

Desain saluran pencatu kemudian diuji dan divalidasi melalui simulasi menggunakan perangkat lunak elektromagnetik, guna memastikan bahwa pencocokan impedansi telah tercapai dan bahwa sistem antenna bekerja dengan baik.

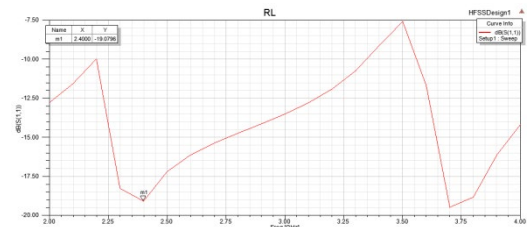
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Perhitungan Rancangan Satu Frekuensi

Pada subbab ini ditampilkan hasil simulasi dari antenna mikrostrip patch segitiga yang dirancang untuk bekerja pada satu frekuensi, yaitu 2,4 GHz, yang termasuk dalam pita frekuensi WLAN (WiFi). Parameter-parameter utama yang dianalisis meliputi Return Loss (RL), Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), Gain, dan Bandwidth. Hasil-hasil ini diperoleh dari proses simulasi menggunakan perangkat lunak elektromagnetik setelah desain antenna selesai dirancang dan dimodelkan berdasarkan hasil perhitungan teoritis.

4.1.1. Simulasi Return Loss (RL) Satu Frekuensi

Hasil simulasi Return Loss pada frekuensi 2,4 GHz menunjukkan nilai sebesar -19,08 dB, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6. Nilai ini menunjukkan tingkat pantulan sinyal yang sangat rendah, artinya hanya sebagian kecil daya yang dipantulkan kembali ke sumber, sementara sebagian besar daya berhasil disalurkan ke patch antenna.



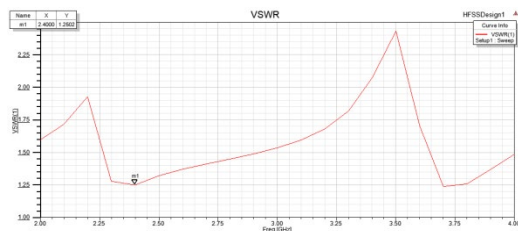
Gambar 6. Grafik return loss satu frekuensi

Secara umum, standar minimum Return Loss untuk antenna yang baik adalah di bawah -10 dB. Dengan hasil sebesar -19,08 dB, maka antenna yang dirancang telah memenuhi dan melampaui standar minimum yang

ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa desain pencatutan dan dimensi patch telah menghasilkan pencocokan impedansi yang cukup baik pada frekuensi target.

4.1.2. Simulasi VSWR Satu Frekuensi

Hasil simulasi VSWR pada frekuensi kerja 2,4 GHz menunjukkan nilai sebesar 1,25, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 7. Nilai VSWR ini mengindikasikan tingkat kecocokan impedansi antara saluran transmisi (feed line) dengan patch antenna.

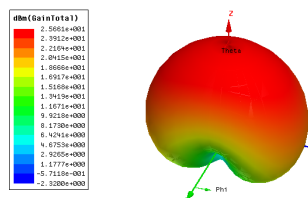


Gambar 7. Grafik VSWR antenna satu frekuensi

Secara umum, antenna dianggap memiliki pencocokan impedansi yang baik apabila nilai VSWR berada dalam rentang 1,0 hingga 2,0, dengan nilai ideal mendekati 1. Nilai VSWR sebesar 1,25 yang diperoleh menunjukkan bahwa antenna telah didesain dengan pencatutan yang sangat baik, sehingga daya pantul sangat kecil dan daya yang ditransmisikan ke antenna sangat tinggi. Dengan pencapaian ini, antenna telah memenuhi kriteria desain untuk frekuensi kerja 2,4 GHz dan dipastikan dapat beroperasi secara efisien dalam sistem WiFi.

4.1.3. Simulasi Gain Satu Frekuensi

Hasil simulasi Gain antenna mikrostrip pada frekuensi kerja 2,4 GHz menunjukkan nilai sebesar 25,6 dBi, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 8. Nilai gain ini menunjukkan kemampuan antenna dalam mengarahkan daya yang dipancarkan ke satu arah tertentu dibandingkan dengan antenna isotropik (ideal yang memancarkan ke segala arah secara merata).



Gambar 8. Pola radiasi (radiation pattern)

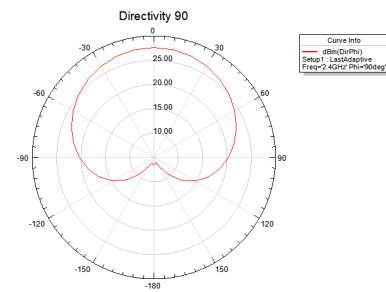
Gain yang tinggi seperti ini mengindikasikan bahwa desain patch segitiga dan sistem pencatutan berhasil

mengarahkan pancaran energi secara optimal ke arah yang diinginkan, sehingga cocok digunakan dalam aplikasi komunikasi nirkabel seperti WiFi, yang memerlukan arah pancaran yang relatif fokus (unidirectional).

4.1.4. Simulasi Directivity Satu Frekuensi

Directivity antenna menunjukkan seberapa besar kemampuan antenna dalam memfokuskan daya radiasi ke arah tertentu dibandingkan dengan antenna isotropik. Nilai directivity menggambarkan bentuk pola radiasi dan menunjukkan seberapa terarah antenna memancarkan sinyal.

Berdasarkan hasil simulasi pada frekuensi 2,4 GHz, diperoleh nilai directivity lebih dari 25 dBi, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 9. Nilai ini menunjukkan bahwa antenna memiliki pola radiasi yang sangat terarah (unidirectional), yang berarti sebagian besar energi dipancarkan ke satu arah utama, bukan tersebar merata ke segala arah.

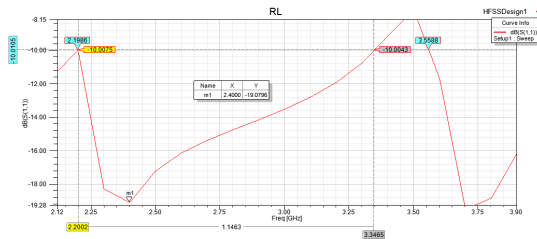


Gambar 9. Hasil Simulasi Directivity satu frekuensi

Karakteristik ini sangat menguntungkan untuk aplikasi WiFi, khususnya pada sistem point-to-point communication atau akses terarah, karena memungkinkan efisiensi energi yang lebih tinggi serta jangkauan sinyal yang lebih jauh dan stabil.

4.1.5 Simulasi Bandwith Satu Frekuensi

Bandwidth antenna merupakan rentang frekuensi di mana antenna dapat bekerja secara efektif, yaitu frekuensi-frekuensi di mana nilai Return Loss ≤ -10 dB, yang menunjukkan bahwa pencocokan impedansi masih berada dalam batas yang diterima untuk transmisi sinyal yang efisien.



Gambar 10. Grafik Bandwidth antenna satu frekuensi

Berdasarkan hasil simulasi Return Loss seperti ditampilkan pada Gambar 10, diperoleh bahwa:

- Frekuensi terendah dengan Return Loss ≤ -10 dB adalah 2,20 GHz
- Frekuensi tertinggi dengan Return Loss ≤ -10 dB adalah 3,34 GHz

Dengan demikian, bandwidth (BW) antenna pada desain satu frekuensi ini dihitung sebagai:

$$BW = 3,34 \text{ GHz} - 2,20 \text{ GHz} = 1,14 \text{ GHz}$$

Nilai bandwidth yang cukup lebar ini menunjukkan bahwa antenna memiliki performa frekuensi yang baik, dan mampu bekerja pada berbagai aplikasi dalam spektrum WiFi 2,4 GHz, bahkan menjangkau sebagian frekuensi di atasnya. Hal ini dapat meningkatkan fleksibilitas dan kompatibilitas antenna terhadap berbagai perangkat dan standar komunikasi nirkabel.

4.2. Rancangan Antena Dua Frekuensi

Pada subbab ini dibahas hasil pengembangan desain antenna mikrostrip patch segitiga untuk bekerja pada dua frekuensi kerja, yaitu 2,4 GHz dan 5,8 GHz, yang merupakan dua pita utama dalam jaringan WiFi (WLAN). Desain dual-frekuensi ini merupakan pengembangan dari antenna satu frekuensi sebelumnya, dengan cara menambahkan dua buah slit sejajar pada patch antenna. Slit ini berfungsi sebagai resonator tambahan untuk memungkinkan antenna menghasilkan resonansi kedua pada frekuensi yang lebih tinggi, yaitu 5,8 GHz.

4.2.1. Simulasi Return Loss (RL) Dua Frekuensi

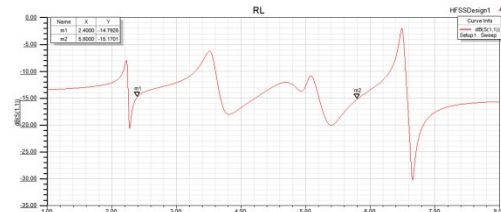
Berdasarkan hasil simulasi desain antenna mikrostrip patch segitiga dua frekuensi, diperoleh nilai Return Loss (RL) sebagai berikut:

- Pada frekuensi 2,4 GHz: -14,79 dB
- Pada frekuensi 5,8 GHz: -15,17 dB

Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 11, yang menampilkan kurva Return Loss terhadap frekuensi.

Kedua nilai RL tersebut telah memenuhi standar minimum desain antenna, yaitu $RL < -10$ dB, yang menunjukkan bahwa pencocokan impedansi antara saluran pancatu dan patch antenna tetap terjaga dengan baik di kedua frekuensi operasi. Ini membuktikan bahwa penambahan slit pada patch berhasil menciptakan mode resonansi tambahan, tanpa mengorbankan performa

resonansi utama.

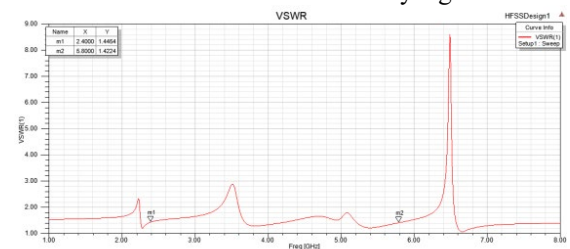


Gambar 11. Grafik RL antenna dua frekuensi

Dengan nilai RL yang cukup rendah di kedua frekuensi target, antenna ini layak digunakan untuk aplikasi WiFi dual-band, baik untuk perangkat yang beroperasi di 2,4 GHz maupun 5,8 GHz.

4.2.2. Simulasi VSWR Dua Frekuensi

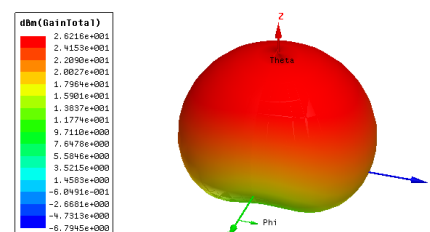
Hasil simulasi rancangan antenna segitiga dua frekuensi, didapat hasil pada frekuensi 2.4 GHz yaitu 1.44 dB dan pada 5,8 GHz yaitu 1.42 seperti yang terlihat pada Gambar 12, dimana hasil yang didapat pada kedua frekuensi sudah memenuhi standart yang ditentukan.



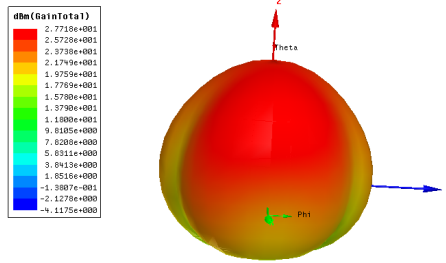
Gambar 12. Grafik VSWR antenna dua frekuensi

4.2.3. Simulasi Gain Dua Frekuensi

Hasil simulasi rancangan antenna segitiga dua frekuensi, didapat hasil pada frekuensi 2.4 GHz yaitu 26,1 dBi dan pada 5,8 GHz yaitu 27,7 dBi seperti yang terlihat pada Gambar 13 dan 14, dimana hasil yang didapat pada kedua frekuensi sudah memenuhi standart yang ditentukan.



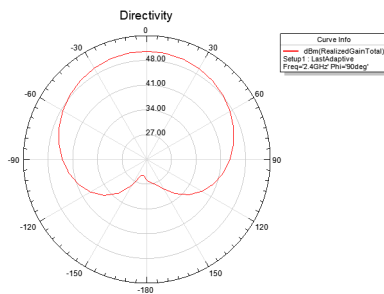
Gambar 13. Gain 2,4 GHz antenna dua frekuensi



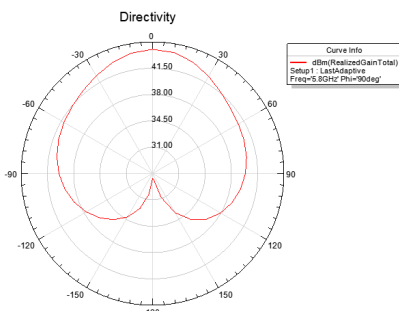
Gambar 14. Gain 5,8 GHz antenna dua frekuensi

4.2.4. Simulasi Directivity Dua Frekuensi

Hasil simulasi rancangan antenna segitiga dua frekuensi, didapat hasil pada frekuensi 2.4 GHz yaitu lebih dari 48 dBi dan pada 5,8 GHz yaitu lebih dari 41,5 dBi seperti yang terlihat pada Gambar 15 dan 16.



Gambar 15. Hasil directivity pada 2,4 GHz antenna dua frekuensi

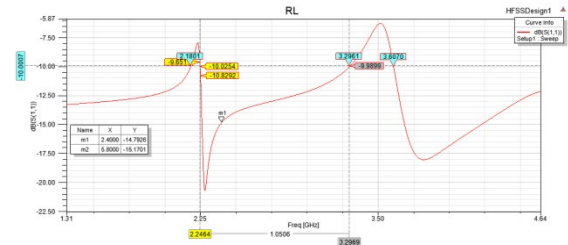


Gambar 16. Hasil directivity pada 5,8 GHz antenna dua frekuensi

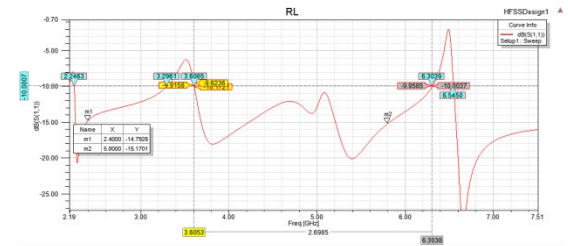
4.2.5. Simulasi Bandwith Dua Frekuensi

Bandwith yang didapat pada range frekuensi 2,4 GHz, frekuensi rendah yaitu 2.25 GHz dan frekuensi tinggi 3.29 GHz seperti terlihat pada Gambar 17. Bandwith yaitu 1.05 GHz.

Sedangkan pada range frekuensi 5.8 GHz, frekuensi rendah yaitu 3,60 GHz dan frekuensi tinggi 6.30 GHz seperti terlihat pada Gambar 18. Bandwith yaitu 2.70 GHz.



Gambar 17. Simulasi hasil Bandwidth pada 2,4 GHz antenna dua frekuensi



Gambar 18 Simulasi hasil Bandwidth pada frekuensi 5,8GHz antenna dua frekuensi

4.3. Analisa Hasil

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan simulasi untuk antenna satu frekuensi hasil yang didapat untuk parameter Return Loss = -19 dB, memenuhi standart minimal yang ditentukan Return Loss ≤ -10 dB, VSWR = 1,25 memenuhi standart minimal yang ditentukan sebesar VSWR ≤ 2 . Gain 25, 6 dBi, Hasil maksimal Directivity didapat jika antenna diputar pada sudut 90° , dan Bandwith = 1,14 GHz

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan untuk antenna dua frekuensi hasil yang didapat untuk parameter Return Loss 2,4 GHz = -14, 79 dB dan 5,8 GHz yaitu -15,17 dB, memenuhi standart minimal yang ditentukan Return Loss ≤ -10 dB. VSWR 2,4 GHz = 1.44 dan 5,8 GHz yaitu 1.42 memenuhi standart minimal yang ditentukan sebesar VSWR ≤ 2 . Gain 25, 6 dBi dan 5,8, Hasil maksimal Directivity didapat jika antenna diputar pada sudut 90° , dan Bandwith pada 2,4 GHz yaitu 1,054 GHz dan 5,8 GHz yaitu 2.70 GHz.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai desain antenna mikrostrip patch segitiga dengan slit ganda untuk aplikasi WiFi, dapat disimpulkan:

1. Antenna mikrostrip patch segitiga dengan slit ganda berhasil dirancang untuk bekerja pada dua frekuensi WiFi, yaitu 2,4 GHz dan 5,8 GHz, dengan performa yang memenuhi standar teknis yang ditentukan.
2. Pada frekuensi 2,4 GHz, antenna menghasilkan Return Loss sebesar -19 dB, VSWR 1,25, gain

25,6 dBi, bandwidth 1,14 GHz, dan directivity maksimum pada sudut 90°. Directiviti mengarah pada antena directional.

3. Pada desain dual-frekuensi, antena mencapai Return Loss -14,79 dB pada 2,4 GHz dan -15,17 dB pada 5,8 GHz, VSWR masing-masing 1,44 dan 1,42, gain 25,6 dBi, bandwidth 1,054 GHz (2,4 GHz) dan 2,70 GHz (5,8 GHz), serta directivity maksimum pada sudut 90°.
4. Penambahan slit ganda pada patch antena efektif meningkatkan kemampuan antena untuk bekerja pada frekuensi 5,8 GHz tanpa menurunkan performa pada frekuensi 2,4 GHz.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrianto, H. H., Mohamed, N., Dziyauddin, R. A., Sam, S. M., & Ahmad, N. (2020). Reconfiguration of Double Stub Feeding in Microstrip Antenna Array for WLAN and WiMAX. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(1), 266–272. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/3891.52020>
- Abrianto, H. H., Mohamed, N., Dziyauddin, R. A., Sam, S. M., Mohd Izhar, M. A., & Ahmad, N. (2021). Enhancement of Antenna Array Bandwidth through Matching Impedance Modification Using Double Stub Matching on Feeding. *Proceedings of the 2021 IEEE Symposium on Future Telecommunication Technologies, SOFTT 2021*, 17–21. <https://doi.org/10.1109/SOFTT54252.2021.9673147>
- Abrianto, H. H., & Mukdien, I. H. (2022). Disain Antena Mikrostrip Array Tiga Band untuk Aplikasi WiFi dan WiMax. *Teknik: Jurnal Ilmu Teknik Dan Informatika*, 2(1), 23–30. <https://doi.org/10.51903/teknik.v2i1.105>
- Abrianto, H., & Irmayani. (2023). Disain Antena Mikrostrip Antena Segiempat MIMO 4X4 Untuk Aplikasi WIFI dan WIMAX. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 8(1), 651–664. <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v8i1.11262>
- Abrianto, H., & Yuliansyah, J. F. (2018). PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP RECTANGULAR DUAL-BAND DENGAN SLOT TRIANGULER PADA FREKUENSI 2,4 GHz DAN 5,8 GHz. *Jurnal Teknik: Universitas Muhammadiyah Tangerang*, 7(1), 62–67.
- Alaydrus, M. (2011). Antena Prinsip dan Aplikasi. In *Graha Ilmu* (Edisi Pert, Vol. 1).
- Ali, J., Abdullah, N., Yahya, R., Joret, A., & Mohd, E. (2019). Ultra-Wideband Antenna with Monostatic/Bistatic Configurations for Search & Rescue Applications. *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng.*, 8(1). www.warse.org/IJATCSE/static/pdf
- Babakhani, B., Sharma, S. K., & Labadie, N. R. (2016). A Frequency Agile Microstrip Patch Phased Array Antenna with Polarization Reconfiguration. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 64(10), 4316–4327.
- Babu, K. V., & Anuradha, B. (2018). Design of multi-band minkowski MIMO antenna to reduce the mutual coupling. *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*
- Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory Analysis and Design* (4th Editio). John Wiley & Sons Inc. <https://doi.org/10.1109/map.1983.27674>
- Darsono, M., & Iskandar, F. (2008). Perancangan Antena Mikrostrip Slot Segiempat 2x2 Array Dengan Jaringan Impedansi Multi. *J. Terra Hertz, ICT Res. Cent. UNAS*, 2(1), 27–70.
- Edwards, T., & Steer, M. (2002). Foundation For Microstrip Circuit Design. In *IEEE Press* (4th editio, Issue July).
- Garg, V. K. (2007). Wireless Communications & Networking. In *Morgan Kaufmann* (1st editio).
- Irmayani, Abrianto, H., & Riyadi. (2023). Disain Antena Mikrostrip Bentuk L Frekuensi Ganda Untuk Aplikasi IoT. *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, 33(2), 1–8. <https://doi.org/10.37277/stch.v33i2.1579>
- Osman, A. S., Islam, M. R., & Habaebi, M. H. (2016). Modeling of Multiband/Wideband Stack Series Array Antenna Configuration for 5G Application. *Int. Conf. Comput. Commun. Eng. Innov. Technol. to Serve Humanit. ICCCE*, 6th, 349–364.
- Rafsyam, Y., Dewanti, A., & Nurjihan, S. F. (2021). Disain Antena Mikrostrip Double Triangular Patch Dengan Slot Y Untuk Aplikasi Penguat Sinyal 4G Pada Frekuensi 1800 MHz. *SPEKTRAL: Journal of Communications, Antennas and Propagation*, 2(April), 35–38.
- Rappaport, T. S. (2024). Wireless Communications: Principles and Practice. In *Cambridge University Press* (2nd editio).
- Rochendi, A. D., Silalahi, L. M., Simanjuntak, I. U. V., & Anggini, F. (2020). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Segitiga Array Untuk Meningkatkan Lebar Pita Menggunakan Teknik Defected Ground Structure. *Journal of Informatics and Communications Technology (JICT)*, 2(2), 17–26. https://doi.org/10.52661/j_ict.v2i2.57
- S, K. J. A., N, L. O., & Syihabuddin, B. (2017). Perancangan Antena MIMO 2 × 2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G. *J. Nas. Tek. Elektro Dan Tek. Inf.*, 6(1), 93–98.
- Saad, A. A. R., & Mohamed, H. A. (2019). Printed millimeter-wave MIMO-based slot antenna arrays for 5G networks. *Int. J. Electron. Commun.*, 99, 59–69.
- Sabapathy, T., Jamlos, M. F., Ahmad, R. B., Jusoh, M., &

- Jais, M. I. (2013). A reconfigurable microstrip rectangular parasitic array antenna. *IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications, ISWTA*, 372–375.
<https://doi.org/10.1109/ISWTA.2013.6688807>
- Stallings, W. (2007). Komunikasi dan Jaringan Nirkabel. In *Penerbit Erlangga* (Jilid 2).
- Surjati, I. (2010). *Antena Mikrostrip : Konsep dan Aplikasinya*. Penerbit Trisakti.
- Surjati, I., Rahardjo, E. T., & Hartanto, D. (2005). Perancangan Pembangkitan Frekuensi Ganda Antena Mikrostrip Segitiga Sama Sisi Menggunakan Teknik Sambatan Elektromagnetik. *Makara*, 9(2), 78–86.